

陈玉霞, 钮晓艳, 邱建辉, 等. $^{60}\text{Co} - \gamma$ 辐射对黄瓜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(1): 146–150.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.01.027

$^{60}\text{Co} - \gamma$ 辐射对黄瓜种子萌发及幼苗生长的影响

陈玉霞, 钮晓艳, 邱建辉, 谷 峰, 林 勇, 刘尚洪

(湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北武汉 430064)

摘要:研究了不同 $^{60}\text{Co} - \gamma$ 射线辐照剂量 (50 ~ 1 000 Gy) 对黄瓜种子发芽及幼苗生长的影响。结果发现, $^{60}\text{Co} - \gamma$ 射线对黄瓜种子的辐射效应明显。当辐照剂量为 50 Gy 时, 黄瓜种子的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数明显高于未辐照处理, 说明辐射促进了黄瓜种子的萌发; 黄瓜种子 24 h 电导率和相对电导率低于对照, 子叶单位面积叶绿素含量明显增加; 幼苗根系生长加快, 侧根发生多, 株高最高, 促进了幼苗生长; 幼苗各部位的鲜质量、干质量和干质量/鲜质量值增加, 说明辐射能提高幼苗素质。当辐照剂量为 100 ~ 1 000 Gy 时, 种子发芽率等 4 项发芽指标、幼苗生长量、子叶叶绿素含量、幼苗各部位鲜质量和干质量则随辐照剂量的增加而明显下降, 而种子细胞膜透性、幼苗各部位干质量/鲜质量比值随着辐照剂量的增加而加大, 辐射抑制了黄瓜种子的萌发及幼苗生长。黄瓜种子辐射诱变的半致死剂量为 795 Gy。

关键词: $^{60}\text{Co} - \gamma$ 辐射; 黄瓜; 种子萌发; 幼苗生长; 影响因素; 半致死剂量

中图分类号: S642.201 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)01-0145-05

黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 为葫芦科 1 年生草本植物, 是汉朝张骞出使西域时带回来的, 最初为野生, 瓜色墨黑带刺, 味道非常苦, 不能食用, 后来经过长期的栽培、改良, 才成为现在甜脆可口的黄瓜。黄瓜中含有蛋白质、脂肪、糖类、多种矿物质、微量元素和维生素, 其中维生素 E 含量较高。黄瓜具有清热解毒、调理肠胃、清肺利尿的功效, 是人们最常

食用的瓜类蔬菜^[1]。人们生活水平的提高, 对蔬菜的无公害化、周年供应等提出了更高要求, 只有培育抗多种病害的黄瓜品种, 才能使黄瓜生产无公害和高产稳产成为现实。要在现有基础上育成有突破性的抗病新品种, 必须通过创新材料, 如发病较严重的枯萎病, 现有抗源很少, 通过辐射诱变, 将可获得高抗枯萎病的突变体, 从而获得创新材料。据国际原子能机构 (International Atomic Energy Agency, IAEA) 2000 年统计, 全世界利用辐射育种技术育成作物新品种 2 252 个, 其中我国育成农作物品种 605 个, 占世界总和的 26.9%, 平均推广种植面积达 $9 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 以上, 育成的新品种为我国增加粮食 30 亿 ~ 40 亿 kg, 棉花 1.5 亿 ~ 1.8 亿 kg, 油料 0.75 亿 kg, 创经济效益 33 亿元^[2]。但目前辐射技

收稿日期: 2018-11-07

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金 (编号: 11605052)。

作者简介: 陈玉霞 (1963—), 女, 湖北鄂州人, 副研究员, 主要从事辐射诱变剂量及农产品辐射加工工艺研究。Tel: (027) 87389805;

E-mail: cyx8066@163.com。

通信作者: 邱建辉, 助理研究员, 主要从事农产品辐射加工工艺研究。

E-mail: qiu Jianhui169@163.com。

含量和根系活力均达到最高值。

综合 3 种草坪草形态特征和生理指标可以看出, 它们对 150 mmol/L NaCl 胁迫处理均具有较好的适应能力, 可以用于中度盐胁迫土壤的生物修复, 3 种草坪草综合抗盐性能力依次为混合草 > 高羊茅 > 狗牙根。

参考文献:

[1] 范建征, 施建国, 孙建新, 等. 浅谈盐碱土壤的综合治理[J]. 新疆农业科技, 2004(6): 31.

[2] 王洪春. 植物抗性生理[J]. 植物生理学通讯, 1981(6): 72–73.

[3] Levitt J. Responses of plants to environmental stress [M]//In Chilling, Freezing and High Temperature Stress. 2nd ed. New York: Academic Press, 1980.

[4] Munns R, Termaat A. Whole plant responses to salinity [J]. Australian Journal of Plant Physiology, 1986, 13: 143–160.

[5] 刘友良, 毛才良, 汪良驹. 植物耐盐性研究进展[J]. 植物生理学通讯, 1987(4): 1–7.

[6] 王韶唐, 荆家海, 丁钟荣, 等. 植物生理学实验指导[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1987.

[7] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2006.

术在黄瓜上的应用仅有少量报道,李加旺等利用 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐射处理具有优良特性的黄瓜自交系干种子,并在其变异后代群体中筛选出 2 个综合性状优良的单株,经 3 代系选,从中选出主要性状能稳定遗传的株系 M-8,并以其为亲本育成适于日光温室栽培的耐低温弱光杂交一代新组合 93-5 黄瓜^[3]。王玉怀利用 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐射长春密刺干种子,从中发现黄色子叶突变的幼苗,研究表明黄色子叶为核遗传的隐形性状,受核内一对等位基因控制,该性状可作为苗期标记鉴别 F_1 杂种^[4]。本研究以 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐照黄瓜品种新津春 4 号干种子,考察不同辐照剂量对黄瓜种子萌发、种子细胞膜透性、幼苗子叶叶绿素含量、幼苗生长量、幼苗各部位鲜质量和干质量的影响,并探明黄瓜辐射诱变的半致死剂量,旨在为黄瓜抗病新品种的选育提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试品种 新津春 4 号干种子,牛皮纸袋包装,每袋 100 粒,共 8 袋。

1.1.2 辐照设备 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所辐照中心 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线源,设计装源容量 1.85×10^{16} Bq,现有放射源活度 1.26×10^{16} Bq,单板 3 层排列。采用动态步进式辐照方式辐照黄瓜干种子。

1.1.3 仪器试剂 UV-vis8500 紫外可见分光光度计、Sartorius 电子分析天平、精密电导率仪、培养皿、滤纸、小刀、直尺、刻度试管、移液管、称量瓶、丙酮。

1.2 方法

1.2.1 试验时间和地点 2017 年 6 月在湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所辐照黄瓜种子并进行种子发芽试验和幼苗观察检测分析。

1.2.2 处理设计 共设 8 个处理:处理 1 辐照剂量为 0 Gy(未辐照种子作为对照)、处理 2 辐照剂量为 50 Gy、处理 3 辐照剂量为 100 Gy、处理 4 辐照剂量为 255 Gy、处理 5 辐照剂量为 500 Gy、处理 6 辐照剂量为 675 Gy、处理 7 辐照剂量为 880 Gy、处理 8 辐照剂量为 1 000 Gy。

1.2.3 发芽率及生长量测定 样品辐照完毕后,每个处理各取种子 30 粒,分别放入 8 个 100 mL 烧杯中,加水浸种 4 h。将滤纸置于培养皿中作发芽床,将种子置于滤纸上,保持滤纸湿润,30 ℃ 恒温暗培养^[5]。种子萌发后,以胚根长达到或超过种子长度

为标准记录发芽数。每天统计发芽数,第 3 天统计发芽势,第 5 天测量幼苗根长和株高以及幼苗各部位鲜质量、干质量,第 7 天统计发芽率。

发芽势 = 第 3 天发芽种子数/试验种子总数 \times 100% ;

发芽率 = 第 7 天发芽总粒数/试验种子总数 \times 100% ;

发芽指数 = 在第 7 天内每天种子发芽数/相对应的种子发芽天数的发芽总和;

活力指数 = 发芽指数 \times 幼苗鲜质量;

出苗率 = 子叶完全展开的幼苗数/供试种子数 \times 100% 。

1.2.3 细胞膜透性测定 取不同辐照处理的净种子各 20 粒,用蒸馏水冲洗 3 次,再用四蒸水冲洗 2 次。将清洗过的种子放入洁净的 100 mL 三角瓶中,加入四蒸水 60 mL,于 25 ℃ 下浸泡 24 h,用精密电导率仪测定浸出液的电导率(C_1),再将种子及浸出液 100 ℃ 水浴 30 min,冷却至 25 ℃ 后测定总电导率(C_2)^[6-7]。

相对电导率 = $(C_1 - C_0)/(C_2 - C_0) \times 100\%$ 。

式中: C_0 为四蒸水的电导率。

1.2.4 用叶丝浸提法^[8]测定子叶叶绿素含量 用小刀和直尺切取 1 cm² 子叶叶片,切成长约 5 mm、宽约 1 mm 的细丝,投入 5 mL 80% 丙酮的刻度试管中,封管口于暗中提取至细丝完全变白为止。分别在 663、645 nm 处读取提取液的吸光度 D ,所用公式为:

叶绿素 a (Chl a) 含量 = $12.7 D_{663 \text{ nm}} - 2.69 D_{645 \text{ nm}}$;

叶绿素 b (Chl b) 含量 = $22.9 D_{645 \text{ nm}} - 4.86 D_{663 \text{ nm}}$;

叶绿素总含量(C_V) = Chl a 含量 + Chl b 含量;
 $C_A = 0.5 C_V / S$ 。

式中: C_A 为单位面积的叶绿素含量; S 为用于提取叶绿素的叶面积。

1.2.5 半致死剂量(LD_{50})计算 不同剂量辐照处理后的出苗率是确定辐射损伤效应的重要指标,是计算半致死剂量的依据,半致死剂量是辐射育种适宜诱变剂量的参考^[9]。处理种子的出苗率为对照出苗率 50% 的辐射剂量即为半致死剂量。

2 结果与分析

2.1 辐照处理对黄瓜种子萌发的影响

不同的辐照剂量对黄瓜种子萌发的影响不同,

具体结果如图 1 所示。当辐照剂量为 50 Gy (处理 2) 时,其发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数这 4 项发芽指标均高于对照和其他各辐照处理,分别比对照增加 7.47%、4.96%、13.84%、27.04%,特别是发芽指数和活力指数这 2 项指标明显大幅提高,种子发芽时间短,发芽速度快,发芽整齐度高。当辐照剂量为 100~880 Gy 时,随着辐照剂量的增加,黄瓜种子发芽进程明显延迟,其发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数明显下降,而且剂量越高,下降越明显;当辐照剂量为 1 000 Gy (处理 8) 时,其发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数只有对照的 58.33%、48.86%、43.51%、12.81%,辐射损伤效应明显。

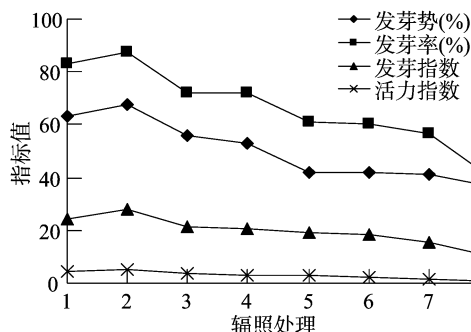


图1 辐照处理对黄瓜种子萌发的影响

2.2 辐照处理对黄瓜种子细胞膜透性的影响

辐照处理不仅能引起细胞核中 DNA 产生变异,同时还会引起膜损伤,膜透性会明显改变,表现出种子浸出液电导率改变,对辐照处理后黄瓜种子 24 h 浸出液电导率及相对电导率测定结果见图 2。当辐照剂量为 50 Gy (处理 2),2 种电导率均低于未辐照处理,说明细胞膜透性小于对照,细胞膜未受到辐射损伤;当辐照剂量为 255~880 Gy 时,细胞渗出液浓度随着辐照剂量的加大而增加,电导率越大,膜透性越大,细胞受损伤程度越大;当辐照剂量为 1 000 Gy 时,24 h 电导率、相对电导率分别为 23.92 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、29.78%,分别是对照的 1.927、2.009 倍。黄瓜种子的 24 h 电导率和相对电导率变化趋势一致。

2.3 辐照处理对黄瓜幼苗子叶叶绿素含量的影响

对苗龄为 5 d 的黄瓜幼苗,于 08:00 取样,测其子叶叶绿素含量,结果见图 3。从图 3 可知,当辐照剂量为 50 Gy (处理 2) 时,其子叶叶绿素含量为 0.232 mg/dm^2 ,高于对照和其他各处理。处理 3 以后,随着辐照剂量的增加,子叶叶绿素含量直线下

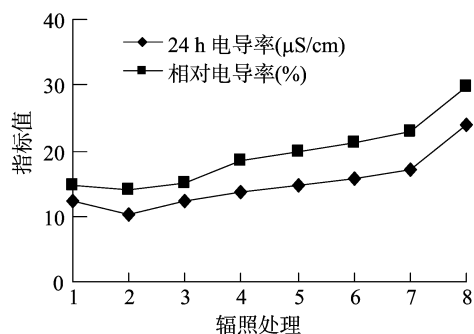


图2 辐照处理对黄瓜种子细胞膜透性的影响

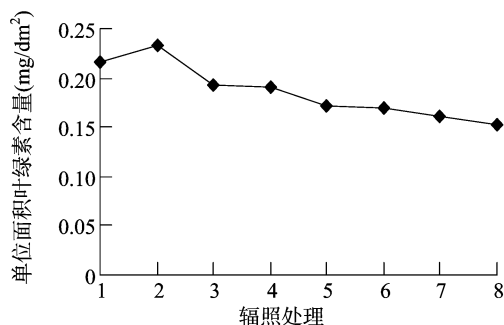


图3 辐照处理对黄瓜幼苗子叶叶绿素含量的影响

降,到 1 000 Gy (处理 8) 时,叶绿素含量仅为 0.153 mg/dm^2 ,比对照减少 29.49%,幼苗叶绿素合成受到严重影响,植株叶面散生条状黄斑。

2.4 辐照处理对黄瓜幼苗生长的影响

对第 5 天的幼苗,每处理取 6 株,考察幼苗的生长情况,测定根长和株高,其结果如图 4 所示。由图 4 可知,不同的辐照剂量对黄瓜幼苗根系生长影响不同。当辐照剂量为 50 Gy (处理 2) 时,幼苗平均根长为 3.4 cm,较对照增加 0.3 cm,侧根发生多,根系生长快。当辐照剂量为 100~880 Gy 时,随着辐照剂量的增加,受辐照种子的幼苗根系生长明显受到抑制,且剂量越大,抑制效果越明显,侧根发生也受到抑制。当辐照剂量为 1 000 Gy 时,绝大多数幼苗只有 1 条主根,平均根长只有 0.8 cm,侧根很少发生。

由图 4 还可知辐照处理对黄瓜幼苗株高的影响与根系相似,当辐照剂量为 50 Gy 时,幼苗株高为 4.6 cm,高于对照 0.4 cm,也高于其他各辐照处理。当辐照剂量为 880 Gy (处理 7)、1 000 Gy (处理 8) 时,株高明显较其他处理低,只有 1.1、0.6 cm,分别比对照低 3.1、3.6 cm,子叶生长缓慢,且其上散生条状黄斑。

2.5 辐照处理对黄瓜幼苗各部位鲜质量、干质量和干质量/鲜质量值的影响

考察第 5 天的黄瓜幼苗植株各部位的鲜质量、

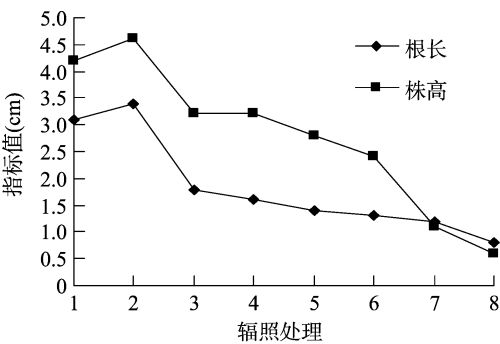


图4 辐照处理对黄瓜幼苗生长的影响

表 1 辐照处理对黄瓜幼苗各部位鲜质量、干质量及干/鲜比值的影响

辐照处理	子叶			下胚轴			根系		
	鲜质量(g)	干质量(g)	干质量/鲜质量值	鲜质量(g)	干质量(g)	干质量/鲜质量值	鲜质量(g)	干质量(g)	干质量/鲜质量值
1	0.084 6	0.011 5	0.135 9	0.036 1	0.004 9	0.135 7	0.046 7	0.004 6	0.098 5
2	0.099 3	0.014 0	0.141 0	0.042 5	0.005 8	0.136 5	0.047 3	0.005 2	0.109 9
3	0.084 5	0.010 6	0.125 4	0.035 9	0.004 9	0.136 5	0.040 3	0.002 3	0.057 1
4	0.084 0	0.010 2	0.125 0	0.035 4	0.004 6	0.129 9	0.038 7	0.002 3	0.059 4
5	0.080 4	0.010 2	0.126 9	0.034 6	0.004 4	0.127 2	0.027 0	0.002 0	0.074 1
6	0.062 3	0.010 0	0.160 5	0.025 7	0.004 2	0.163 4	0.018 2	0.001 5	0.082 4
7	0.043 6	0.010 0	0.229 4	0.018 7	0.004 0	0.213 9	0.010 7	0.001 0	0.093 5
8	0.030 2	0.009 0	0.298 0	0.010 6	0.003 4	0.320 8	0.008 3	0.000 8	0.096 4

注:测定的各部位数值指平均每株黄瓜幼苗鲜质量和干质量。

子叶、下胚轴、根系 3 个部位的干质量表现一致,也是处理 2 最高,处理 3 以后随着辐照剂量的增加,3 个部位的干质量明显下降,剂量越大,下降越明显。

值得注意的是子叶、下胚轴、根系 3 个部位的干质量/鲜质量值,当辐照剂量为 50 Gy 时,3 个部位的干质量/鲜质量值分别为 0.141 0、0.136 4、0.109 4,均高于对照,3 个部位的鲜质量、干质量也高于对照,可见黄瓜种子经 50 Gy 辐照处理以后,幼苗各部位在增加鲜质量的同时,还使干质量有相应的增加,说明不单是细胞含水量增加。当辐照剂量为 100~1 000 Gy 时,随着辐照剂量的增加,子叶、下胚轴、根系的干质量/鲜质量值明显上升,有的处理还远远超过对照,这是由于不同剂量的辐照处理使幼苗根系生长受到抑制,根系吸收能力较弱,子叶、下胚轴的生长受到抑制,有机物合成受到影响,各部位鲜质量、干质量低于对照。因此,这种较高的干质量/鲜质量值并不代表植株生长加强,而只是生长受抑制的表现。

2.6 黄瓜干种子辐射处理的半致死剂量

植物种子辐射当代的出苗率是确定辐射损伤效应的重要指标,是计算半致死剂量的依据。黄瓜种子的出苗率是指子叶完全展开的幼苗数占供试

干质量以及干质量/鲜质量值,结果如表 1 所示。子叶的鲜质量以处理 2 最高,平均每株为 0.099 3 g,比对照增加 0.014 7 g,处理 3 以后随着辐照剂量的增加,子叶的鲜质量逐渐下降,至处理 8 时每株子叶鲜质量只有 0.030 2 g,仅为对照的 35.70%。下胚轴、根系的鲜质量随着辐照剂量的变化情况与子叶相似。

种子数的百分比。半致死剂量是辐射育种的适宜剂量。以辐照剂量 0、100、255、500、675、880、1 000 Gy 为自变量(x),相对应的出苗率 36.80%、30.63%、26.32%、22.13%、19.27%、17.67%、16.22%为因变量($y, %$),进行回归计算,得 $a = 36.21, b = -0.018 7$,直线方程式为 $y = 33.27 - 0.018 7x$ 。将对照出苗率的 50% 代入方程式,得 $LD_{50} = 795$ Gy。

3 讨论

在一定的剂量范围内,辐射能促进植物种子萌发和幼苗生长。王天龙等研究发现,辐射剂量为 20~60 Gy 时有利于萝卜种子发芽,辐射剂量为 60~150 Gy 时有利于其幼苗根的生长^[10]。陈桂松等用低剂量 γ 射线辐照黄瓜风干种子,发现 4.28 Gy 辐照剂量处理可明显刺激黄瓜增产^[11]。本研究发现,当辐照剂量为 50 Gy 时,黄瓜种子的发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数 4 项发芽指标均高于对照,促进了黄瓜种子的萌发;第 5 天的黄瓜幼苗单位面积叶绿素含量高于对照和其他各辐照处理,有利于黄瓜幼苗有机物的合成;50 Gy 辐照处理能促进幼苗根系生长,根长最长,侧根发生多,有利于幼苗对水分和养分的吸收;50 Gy 辐照处理能增

加幼苗子叶、下胚轴、根系 3 个部位的鲜质量和干质量及干质量/鲜质量值,从而提高幼苗素质。

辐射处理后种子的发芽情况是衡量辐射损伤的重要指标之一。敖妍等发现,对扶芳藤种子辐射后,其发芽率受到的抑制与辐射剂量呈极显著负相关^[12]。葛维亚等研究表明 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射处理明显不利于地被菊种子的萌发^[13]。在本试验中,当辐射剂量 $\geq 100\text{ Gy}$ 时,辐射处理对黄瓜种子的萌发具有明显的抑制作用,随着辐照剂量的增加,种子的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数明显下降,辐照抑制了种子的萌发,其原因可能是辐射对种胚结构及萌发过程的生理活动产生了不同程度的影响。

辐射处理对幼苗生长的抑制作用,也是衡量辐射生物学效应的一个重要指标。从本研究对黄瓜种子辐射处理结果来看,100~1 000 Gy 的辐射处理对幼苗生长抑制明显,随辐照剂量的增加,第 5 天的黄瓜幼苗子叶叶绿素含量逐渐下降,幼苗株高逐渐变矮,根长逐渐变短,子叶、根系及下胚轴生长明显受到抑制,辐照剂量为 1 000 Gy 时,幼苗生长缓慢,株高最矮,大部分幼苗只有 1 条主根,侧根很少发生,部分种子虽然能正常发芽,但不能出苗或出苗后逐渐死亡。本试验中还发现,当辐照剂量高于 100 Gy 时,幼苗的鲜质量、干质量与辐照剂量呈负相关,其原因可能是辐射处理抑制了幼苗根系生长,根系吸收能力较弱,下胚轴和子叶生长受到抑制,有机物合成受到影响。但干质量/鲜质量值与辐照剂量呈正相关,但这并不代表幼苗生长的加强,而只是生长受到抑制的表现。

辐射诱变首先要确定适宜的辐射剂量,才可能获得有益的突变,一般都以半致死剂量作为辐射育种的适宜辐射剂量。耿兴敏等在研究 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐射对桂花种子萌发及幼苗生长影响时,以辐射处理后桂花品种的发芽率计算半致死剂量,且还发现高剂量辐射后种子虽能萌发,但出苗率受到明显的抑制^[14]。熊秋芳等研究发现,低剂量的辐射不会影响萝卜种子的最终发芽率,却抑制了出苗率,且随着辐射剂量的增大,其抑制作用变明显,主要表现为抑制了根茎生长^[15]。本研究发现, $\geq 100\text{ Gy}$ 辐射剂量处理的黄瓜种子的发芽率与出苗率存在较大差异,部分种子虽然能发芽,但最终未能出苗,以发芽率计算的半致死剂量高于以出苗率计算的半致死剂量,较高的辐射剂量会增加畸变率,从而降低

有益突变体的产生。

4 结论

本试验结果表明, $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线对黄瓜种子的辐射效应明显。当辐照剂量为 50 Gy 时,辐射能明显促进黄瓜种子萌发,促进幼苗生长和提高幼苗素质。当辐照剂量为 100~1 000 Gy 时,种子发芽率等 4 项发芽指标、幼苗子叶叶绿素含量、幼苗生长量、幼苗各部位的鲜质量和干质量随辐照剂量的增加而明显下降,而种子细胞膜透性和幼苗各部位干质量/鲜质量值随着辐照剂量的增加而加大,说明辐射能明显抑制黄瓜种子萌发和幼苗生长。经计算,黄瓜种子辐射诱变的半致死剂量为 795 Gy。

参考文献:

- [1] 吴小波,周海霞. 河南省黄瓜生产现状与发展方向[J]. 农业科技通讯,2014(3):22-23.
- [2] 黄熊娟,李剑钊. 我国辐射诱变育种及其在蔬菜中的应用[J]. 广西农业科学,2008,39(6):725-730.
- [3] 李加旺,孙忠魁,杨森,等. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线在黄瓜诱变育种中的应用初报[J]. 中国蔬菜,1997(2):22-24.
- [4] 王玉怀. 黄瓜子叶颜色遗传规律的研究[J]. 东北农学院学报,1990(2):96-97.
- [5] 张振宇. 种子室内发芽试验注意问题及处理方法[J]. 中国种业,2010(10):46-47.
- [6] 徐新娟,李勇超. 2 种植物相对电导率测定方法比较[J]. 江苏农业科学,2014,42(7):311-312.
- [7] 王红亮,陈丽丽. 低温胁迫对 9 种绿化树木相对电导率的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(4):167-169.
- [8] 舒展,张晓素,陈娟,等. 叶绿素含量测定的简化[J]. 植物生理学通讯,2010,46(4):399-402.
- [9] 周小梅,赵运林,蒋建雄,等. 几种冷季型草坪草辐射敏感性及其辐射育种半致死剂量的确定[J]. 湘潭师范学院学报(自然科学版),2005,27(1):75-78.
- [10] 王天龙,强继业. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线对萝卜种子发芽率及幼苗生长的影响[J]. 青海农林科技,2009(1):1-3.
- [11] 陈桂松,叶力勤,毛建民,等. 低剂量 γ 射线辐照黄瓜风干种子刺激增产的研究[J]. 宁夏农林科技,1994(1):30-32.
- [12] 敖妍,张国盛,鲁切强,等. 扶芳藤种子与枝条的 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射效应[J]. 核农学报,2006,20(3):202-204.
- [13] 葛维亚,杨树华,陈林,等. 辐照对地被菊种子的生长效应[J]. 核农学报,2011,25(1):67-70.
- [14] 耿兴敏,王良桂,李娜,等. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射对桂花种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 核农学报,2016,30(2):216-223.
- [15] 熊秋芳,陈玉霞,张雪清,等. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射对萝卜种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 浙江农业科学,2014(3):356-359.